



UFPE

**Departamento de
Engenharia Cartográfica**



CTG

MundoGEO

#connect

LatinAmerica 2013

ESTIMATIVA DAS CORREÇÕES DOS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GNSS EM TEMPO REAL UTILIZANDO UMA REDE DE ESTAÇÕES GNSS

HAROLDO ANTONIO MARQUES (1)

JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO (2)

(1) Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil – haroldoh2o@gmail.com

(2) Faculdade de Ciências e Tecnologia / Universidade Estadual Paulista - FCT/UNESP - Pres. Prudente – SP – galera@fct.unesp.br



UFPE

INTRODUÇÃO

- A realização de posicionamento GNSS em tempo real é possível através dos métodos:
 - *Differential* GPS (DGPS),
 - *Real Time Kinematic* (RTK)
 - *Real Time PPP* (RTPPP)
- O RTPPP têm sido alvo de muitas investigações nos últimos anos pela comunidade científica internacional, algo que pode ser visto através do projeto piloto do IGS (<http://www.rtigs.net/pilot/>) para PPP em tempo real
 - O IGS lançou oficialmente no ano de 2013 o serviço de RTPPP à comunidade usuária com disponibilização de correções dos relógios dos satélites e órbitas em tempo real
- O método RTPPP requer disponibilidade de órbitas precisas e correções dos relógios (erro do relógio) dos satélites em tempo real

**Departamento de
Engenharia Cartográfica**



CTG



UFPE

**Departamento de
Engenharia Cartográfica**



CTG

RTPPP

- Atualmente, é possível utilizar:
 - Posição do satélite a partir da efemérides IGU
 - Correções de relógios disponíveis na IGU não fornecem acurácia suficiente ($3 \text{ ns} \cong 0,9 \text{ m}$) para realizar RTPPP com acurácia no nível de centímetros
- Pode-se utilizar órbitas em tempo real e correções de relógios dos satélites dentro do contexto do projeto do IGS para tempo real
 - Software BNC e BNS do BKG
 - Correções de relógios GNSS são estimadas pelo software RTNet e posteriormente codificadas pelo BNS
 - Correções a serem aplicadas nas efemérides transmitidas



UFPE

DESENVOLVIMENTOS NO BRASIL

- A investigação sobre o tema RTPPP fez parte do desenvolvimento de uma tese de doutorado na FCT/UNESP
 - Objetivos: Pesquisar e implementar uma metodologia para estimar as correções dos relógios dos satélites e realizar o PPP em tempo real com base em uma rede de estações GNSS.
- Desenvolvimentos
 - Estimativa das correções de relógios dos satélites com posterior envio ao usuário
 - Realização de RTPPP ao nível de usuário

Departamento de
Engenharia Cartográfica



CTG

REDES GNSS PARA TEMPO REAL DISPONÍVEL NO BRASIL



UNESP

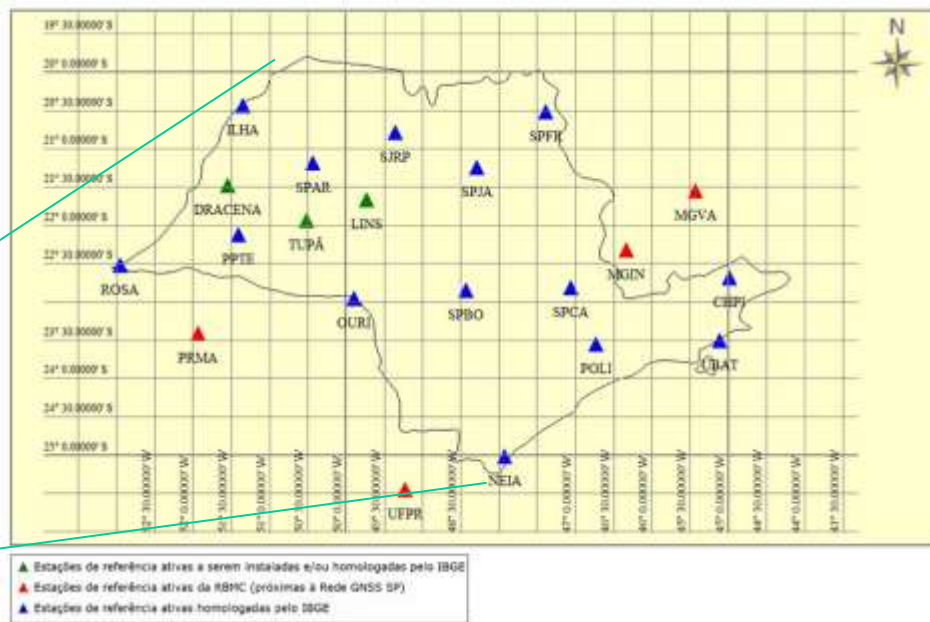


Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências - DGC
Coordenação de Geodésia - COED

REDE RBMC-IP



Rede GNSS do estado de São Paulo



Essas redes transmitem os dados GNSS em tempo real via internet através do protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*)



UFPE

ESTIMATIVA DAS CORREÇÕES DE RELÓGIOS DOS SATÉLITES

- A estimativa das correções dos relógios dos satélites pode ser realizada com base numa rede de estações GNSS de referência
- Alguns métodos foram propostos para estimativa das correções dos relógios dos satélites:
 - Usando pseudodistância e fase a nível de dupla diferenças entre satélites e entre épocas (WEBER; MERVAT; DOUSA, 2007)
 - Filtro de Kalman no modo PPP em rede (sem diferenciações) para estimar correções de relógios juntamente com outros parâmetros, tais como troposfera e ambiguidades (HAUSCHILD, 2010)
 - Integração de ambos os métodos, ou seja, duplas diferenças e PPP em rede (ZHANG; LI; GUO, 2010)

Departamento de
Engenharia Cartográfica



CTG



UFPE

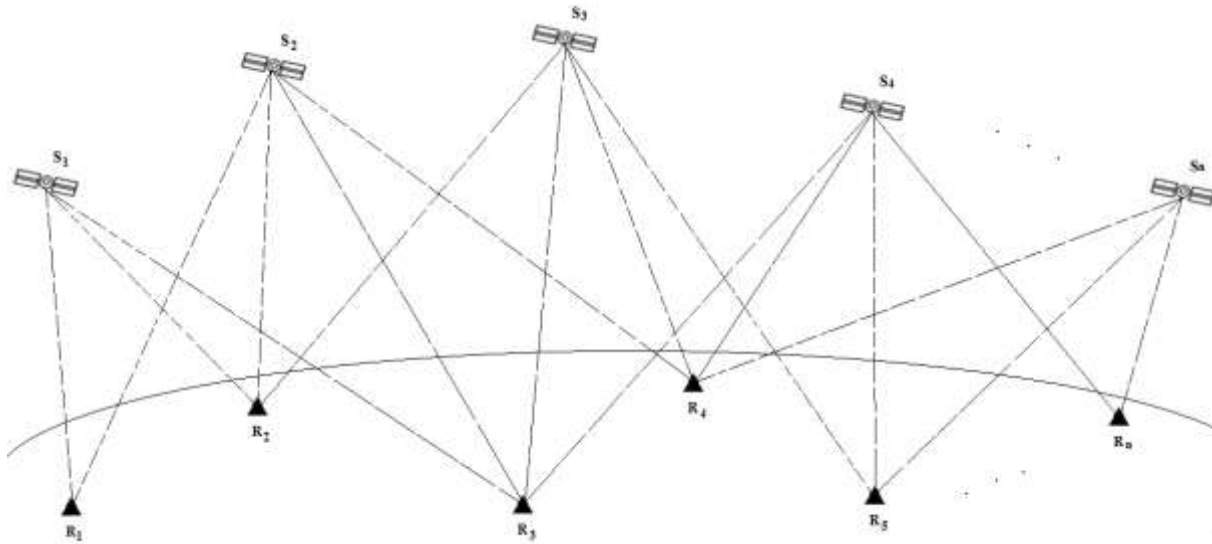
Departamento de Engenharia Cartográfica



CTG

METODOLOGIA

- A metodologia adotada consiste no método PPP em rede
 - Estimativas compatíveis com as correções do IGS



Modelo matemático linearizado

- Modelo com deficiência de *rank*
- Injunção mínima
- Grande número de parâmetros a serem estimados

$$E \left\{ \begin{bmatrix} \Delta PR_{IF_f}^{s_i} \\ \Delta \lambda_{IF} \phi_{IF_f}^{s_i} \end{bmatrix} \right\} = AX = \begin{bmatrix} -1 & 1 & m_f & 0 \\ -1 & 1 & m_f & \lambda_{IF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} cdt^{s_i} \\ cdt_f \\ T_{zw} \\ N_{IF}^{s_i} \end{bmatrix}$$



UFPE

Departamento de
Engenharia Cartográfica



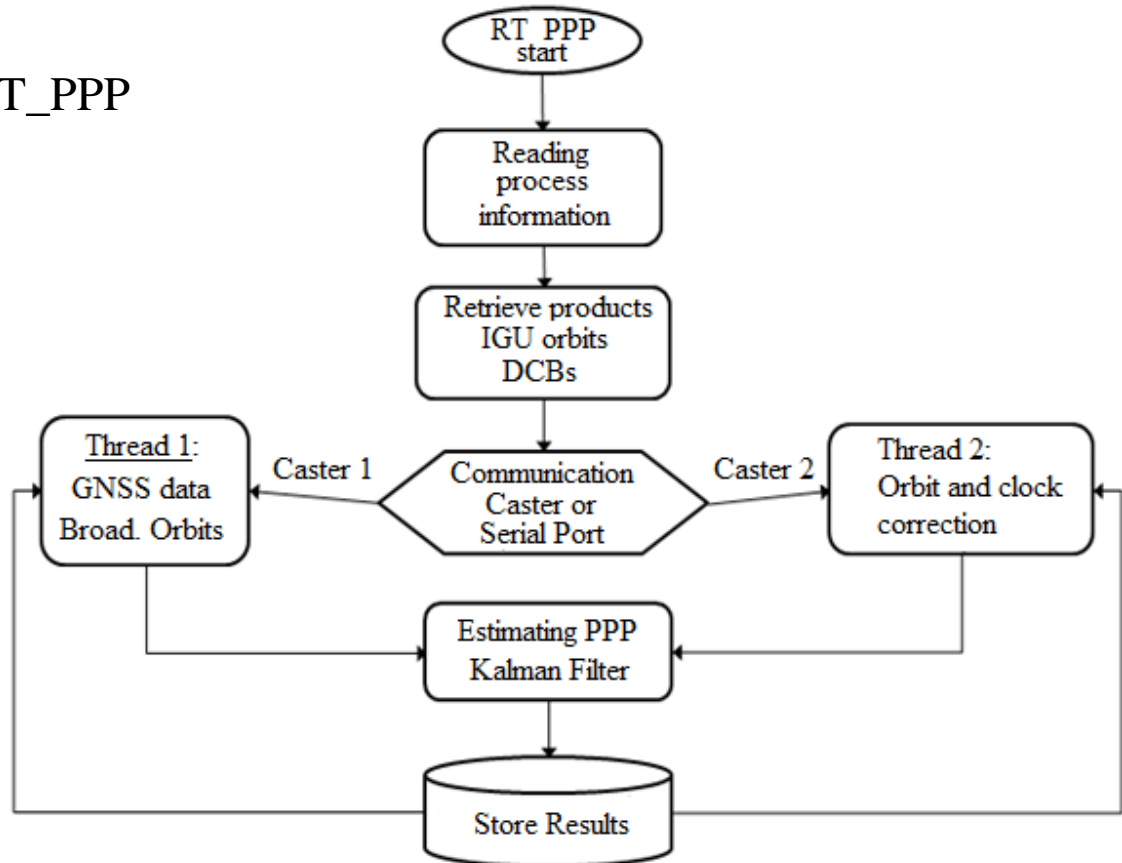
CTG

IMPLEMENTAÇÃO

- Dois softwares desenvolvidos
- RT_PPP – RTPPP ao nível de usuário
- RT_SAT_CLOCK – Estimativa das correções de relógios

Fluxograma do RT_PPP

Recebimento dos dados GNSS via NTRIP 3.0 ou porta serial





UFPE

MODELOS MATEMÁTICOS IMPLEMENTADOS NO RT_PPP

Efeito	Estratégia
Ionosfera – 1ª ordem	Combinação ion-free
	Estimativa da ionosfera como processo estocástico
Troposfera	Somente modelo de Hopfield + GPT
	GMF + TZD a partir de dados do CPTEC
	VMF1 + TZD a partir de dados ECMWF
	TZH fixo + TZW estimado (random walk)
Marés de corpos terrestres e Carga de marés oceânicas	Modelos descritos pelo IERS 2003 (McCARTHY; PETIT, 2003)
PCV receptor e satélite	Varição absoluta do centro de fase das antenas (PCO e PCV)
Efemérides precisas	IGS ou IGU predita
Correção do erro do relógio do satélite	Pós-processado ou tempo real (a partir do software RT_SAT_CLOCK)
Differential Code Bias (DCB)	Valores mensais estimados pelo CODE
Ambiguidades	Solução <i>float</i>
Fase <i>wind-up</i>	Aplicado
Efeito de relatividade	Aplicado

Departamento de
Engenharia Cartográfica



CTG



UFPE

SOFTWARE – RT_SAT_CLOCK

- **RT_SAT_Clock** - PPP em rede
 - Filtro de Kalman
 - Todas as correções de PPP para cada estação da rede
 - Pseudodistância e fase (não diferenciação)
- **Erro do relógio do receptor (dtr)**
 - *White Noise*
- **Correção de relógios do satélite (dts)**
 - Modelo de predição linear ou polinômio de segunda ordem
 - Tratamento como *Random Walk*
- **Ambiguidades**
 - Estimada para cada satélite em cada estação da rede (solução *float*)

Departamento de
Engenharia Cartográfica



CTG

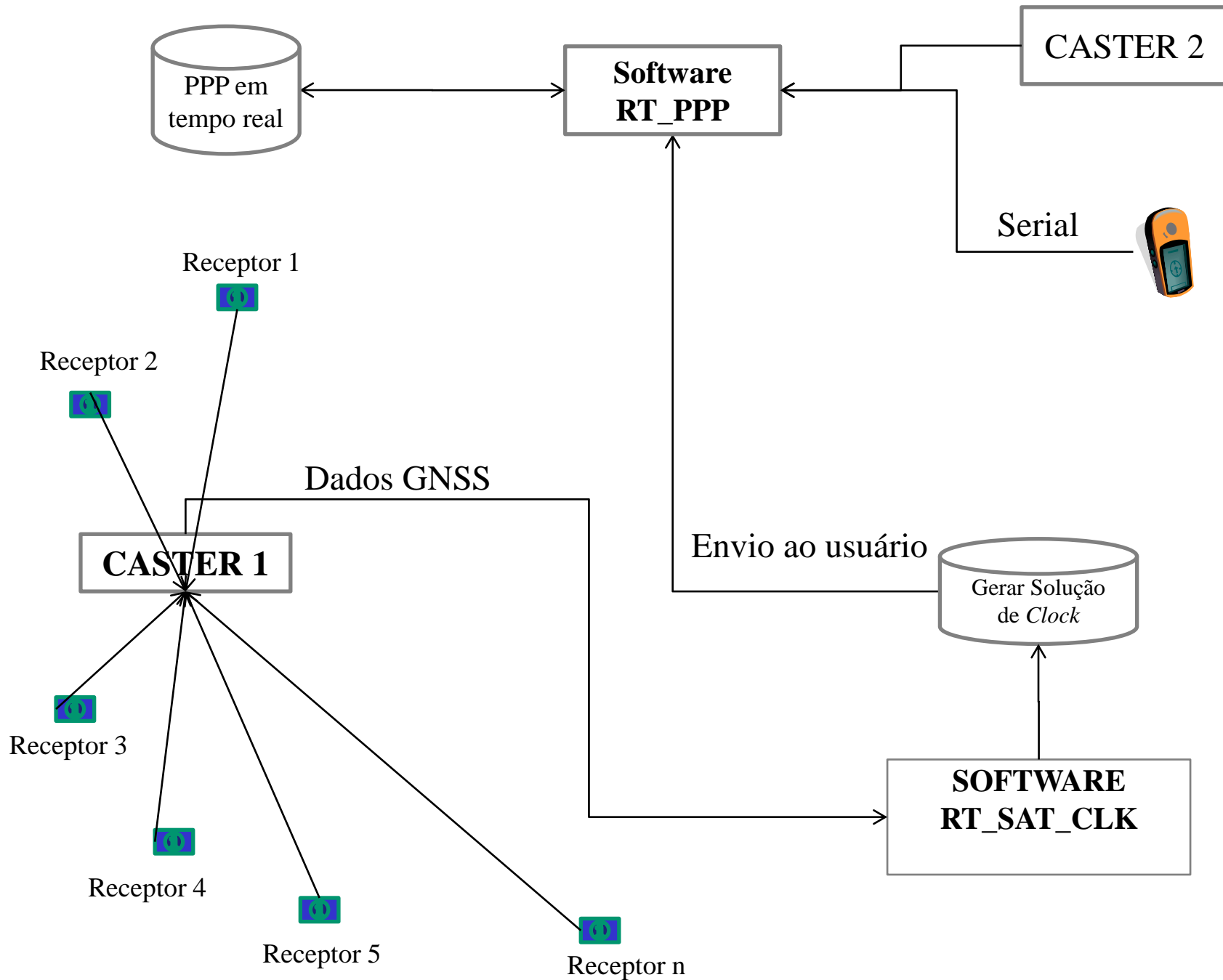


UFPE

Departamento de
Engenharia Cartográfica



CTG

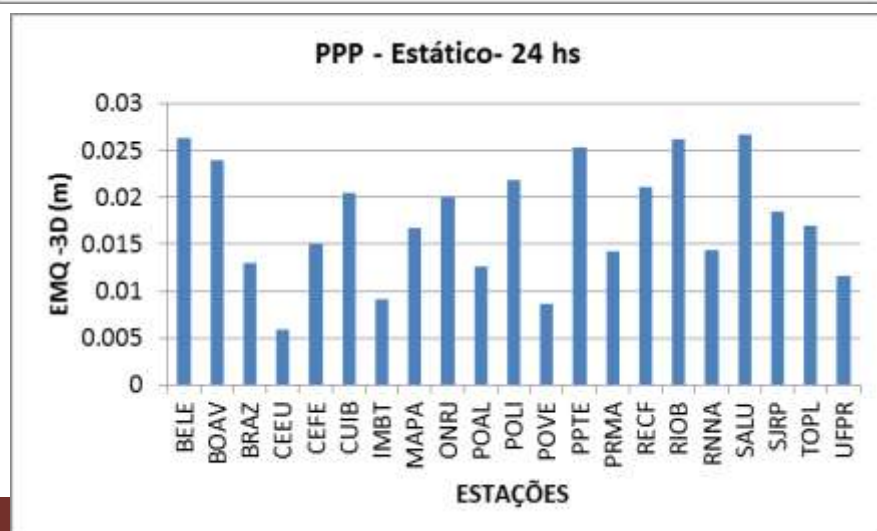
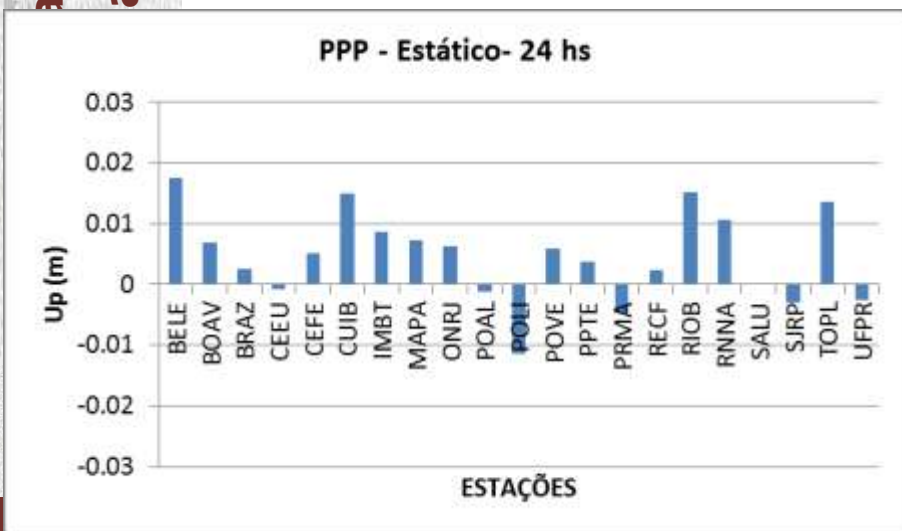




UFPE

RT_PPP (RBMC-IP) – MODO PÓS-PROCESSADO

- PPP estático pós processado (24 hs de dados) – comparação com solução semanal SIRGAS-CON



RT_PPP (RBMC-IP) – MODO PÓS-PROCESSADO

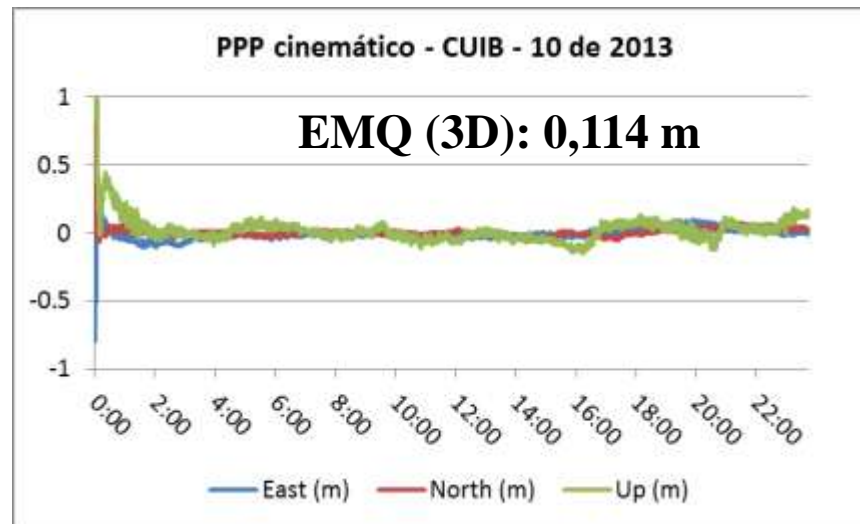
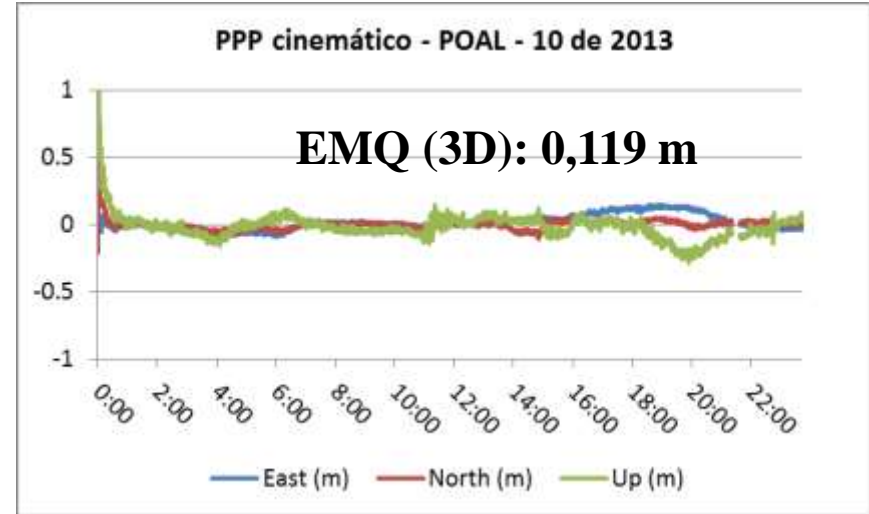
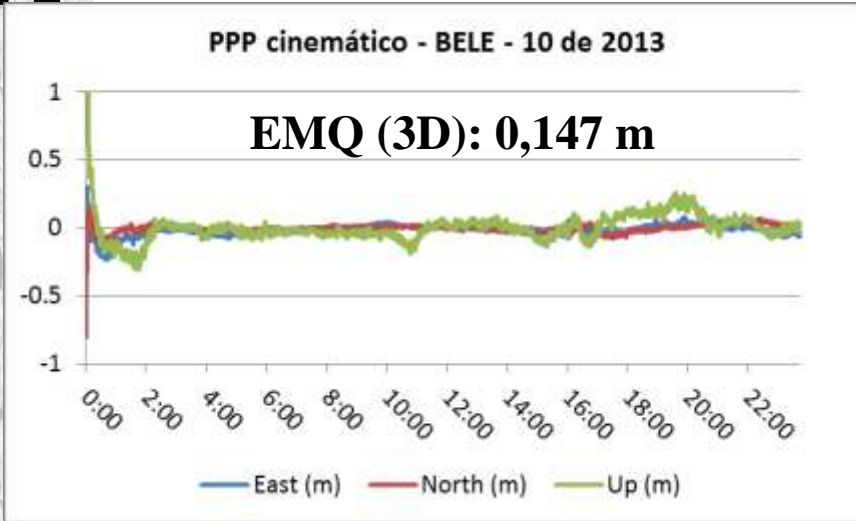


UFPE

Departamento de Engenharia



CTG

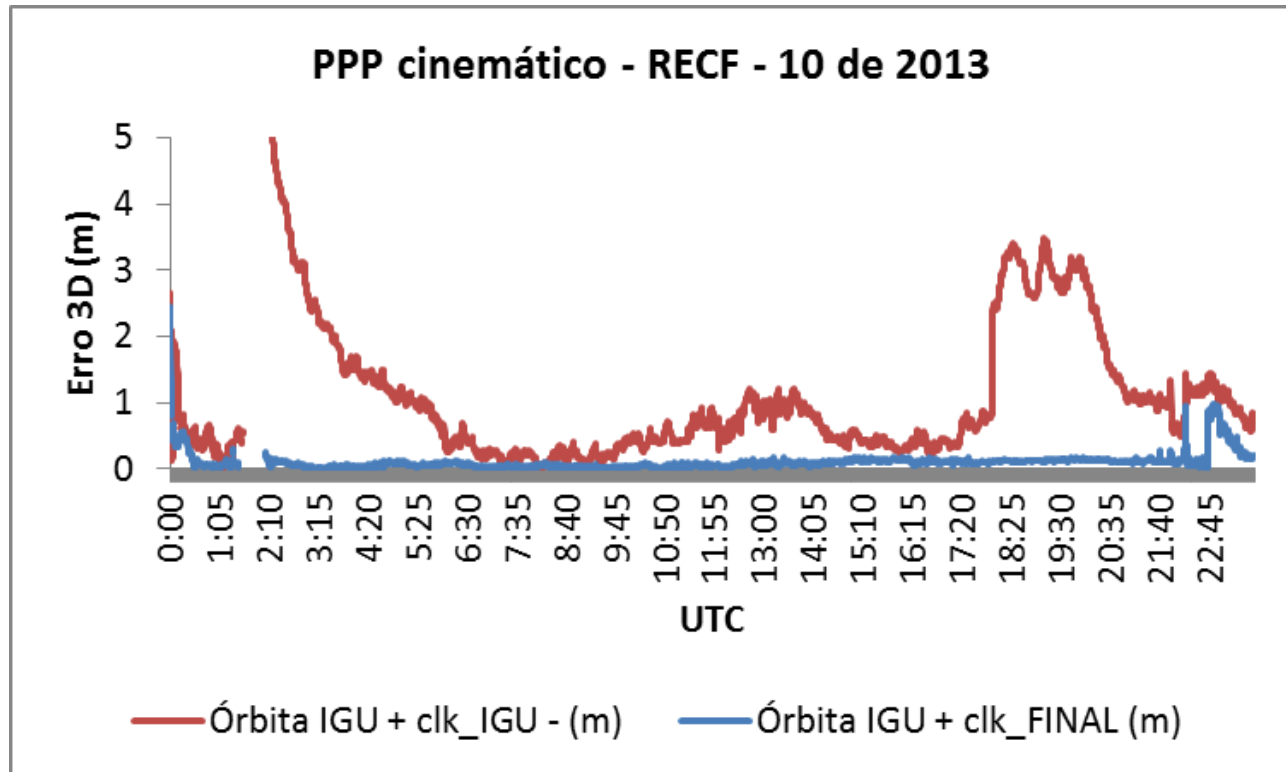




UFPE

PPP CINEMÁTICO - PÓS PROCESSADO

- PPP cinemático
 - IGU + clock_IGU
 - IGU + clock Final (30 s)



Departamento de
Engenharia Cartográfica



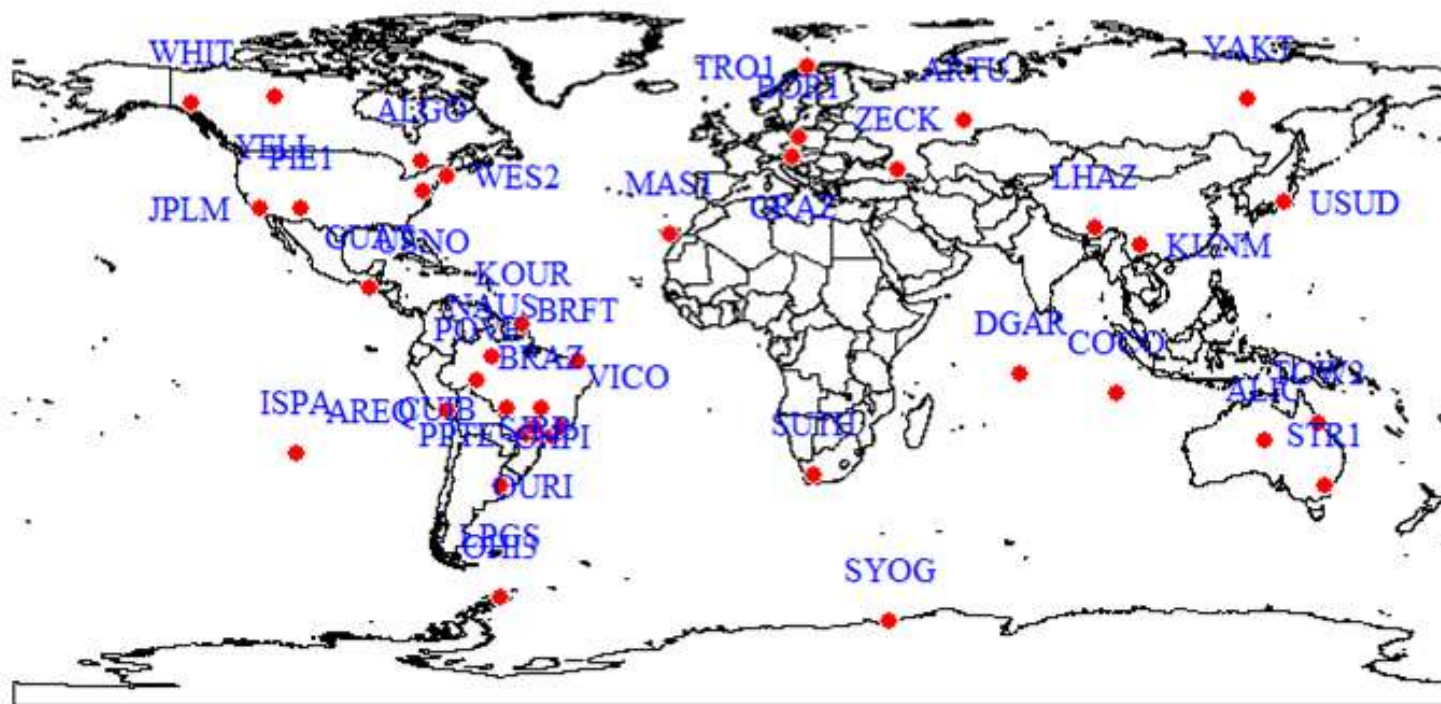
CTG



UFPE

ESTIMATIVA DAS CORREÇÕES DE RELÓGIOS

- Rede Global IGS e RBMC para estimativa de correções dos relógios dos satélites



Departamento de

Engenharia Cartográfica



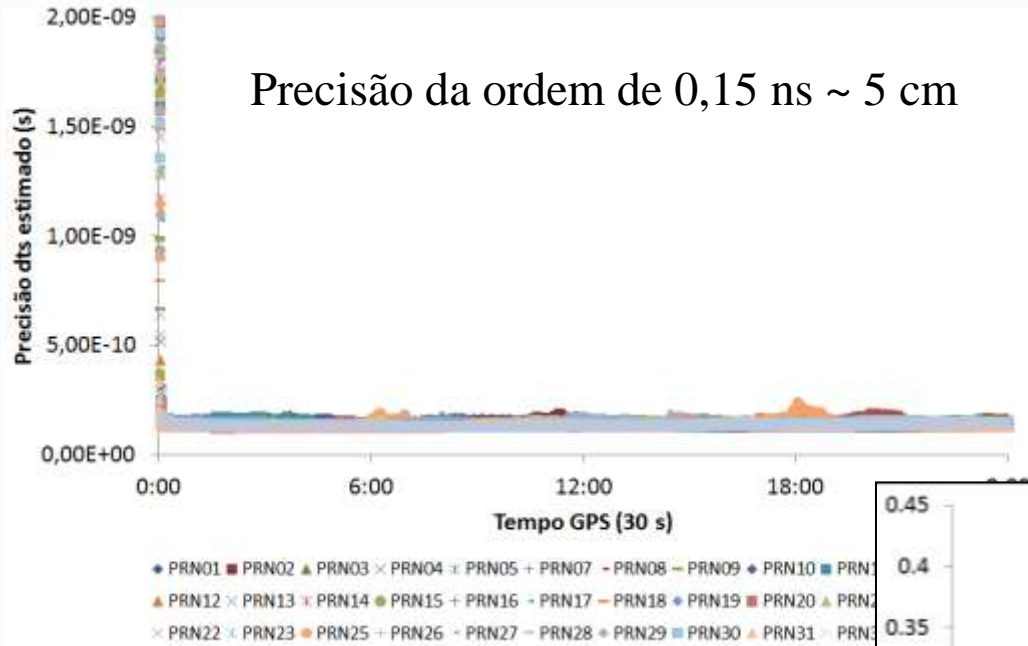
CTG



UFPE

CORREÇÕES ESTIMADAS PELO RT_SAT_CLOCK

Precisão da ordem de 0,15 ns ~ 5 cm

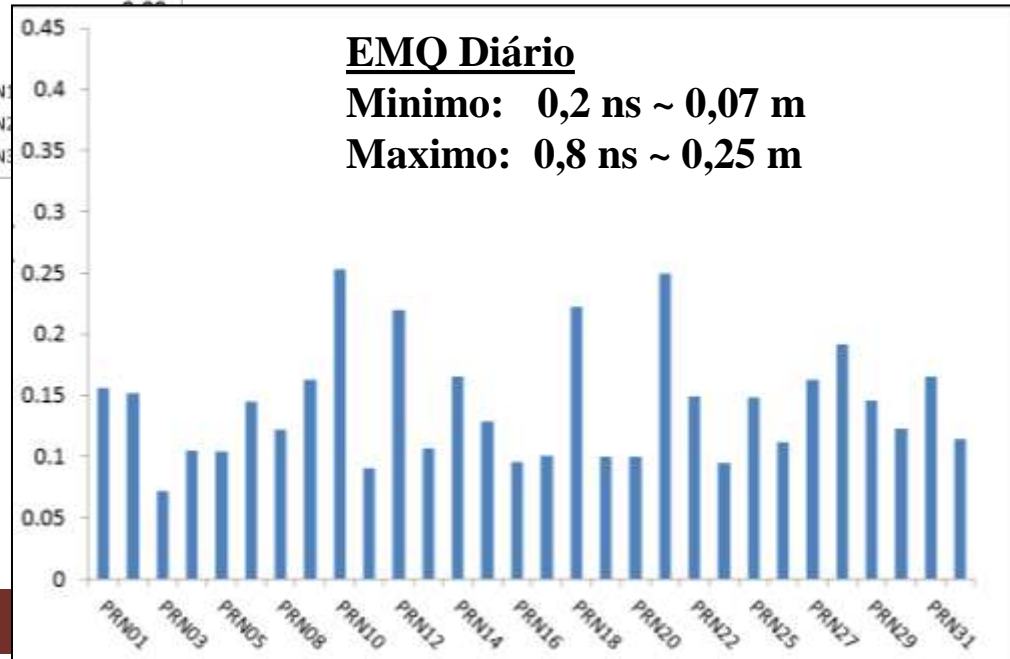


EMQ ao comparar os relógios estimados com a solução final do IGS

EMQ Diário

Minimo: 0,2 ns ~ 0,07 m

Maximo: 0,8 ns ~ 0,25 m



Depo Engo



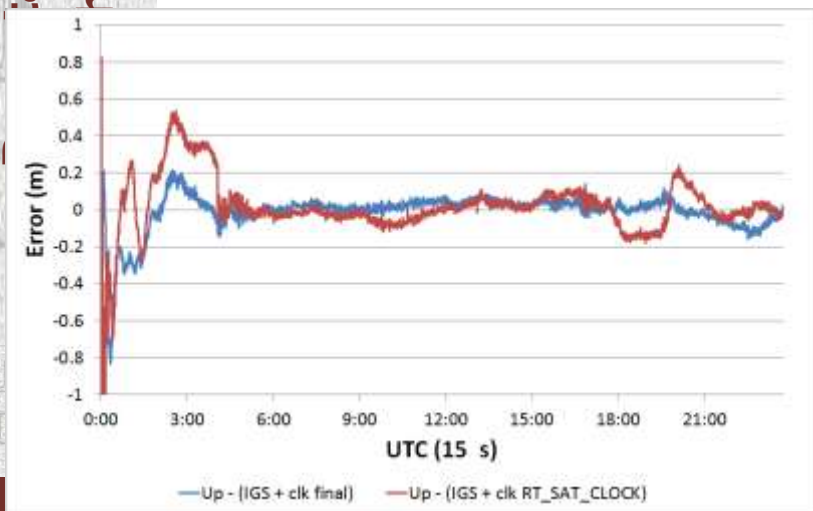
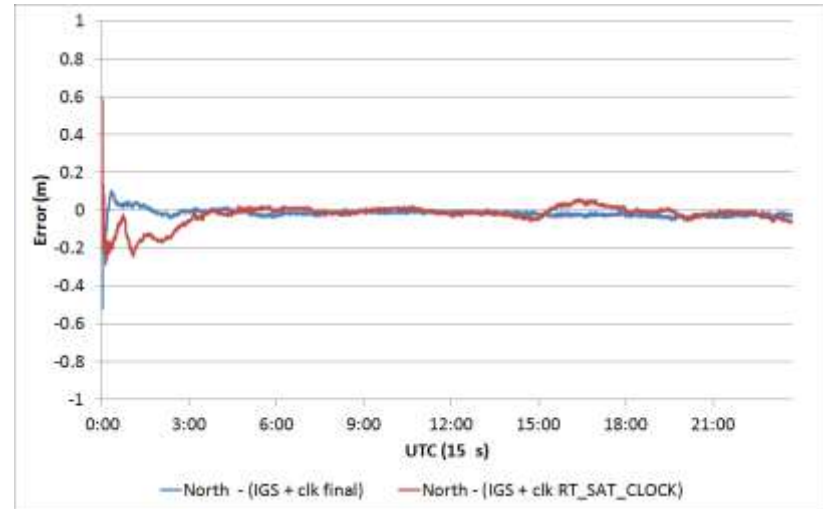
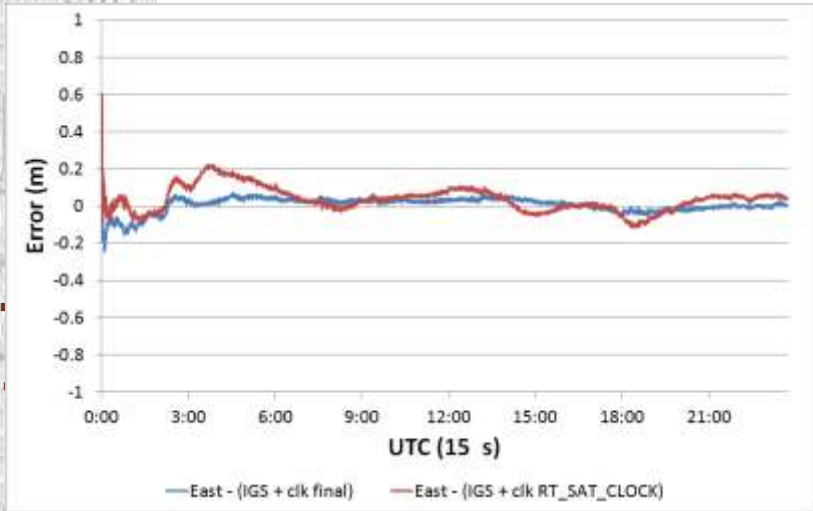
CTG

UFPE DECart



CORREÇÕES DO RT_SAT_CLOCK NO RT_PPP

UFPE RT_PPP usando órbita e relógio final do IGS (30 s) contra órbita final e relógio do RT_SAT_CLOCK



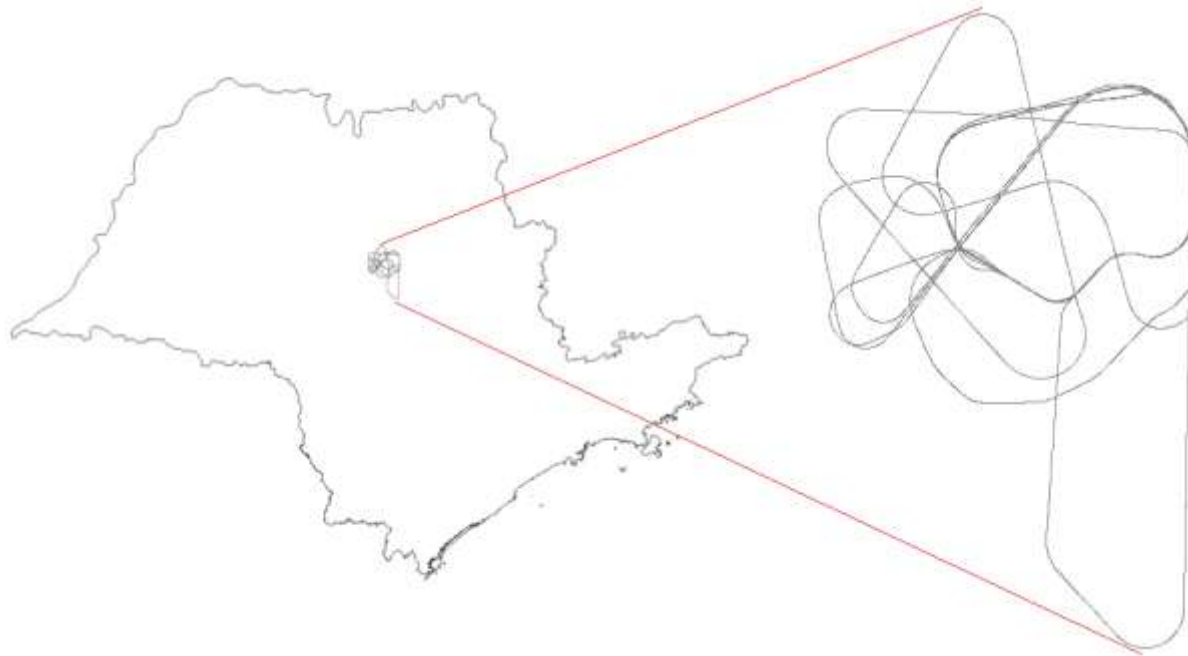
	DE	DN	DU
Orb. final+ clk final	0,041	0,026	0,109
Orb. final + clk RT_SAT_CLOCK	0,077	0,057	0,173



UFPE

APLICAÇÃO DE RTPPP ENSAIOS EM VOO

- PPP em tempo real para estimativa da posição de aeronaves
- Alguns experimentos realizados para um voo em teste da EMBRAER - dia 24 de 2009



**Departamento de
Engenharia Cartográfica**



CTG

APLICAÇÃO DE RTPPP

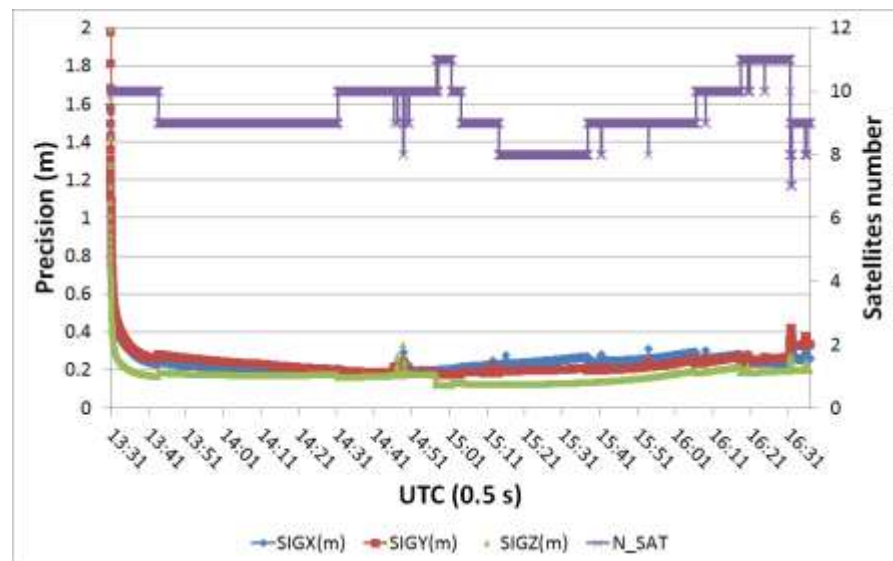
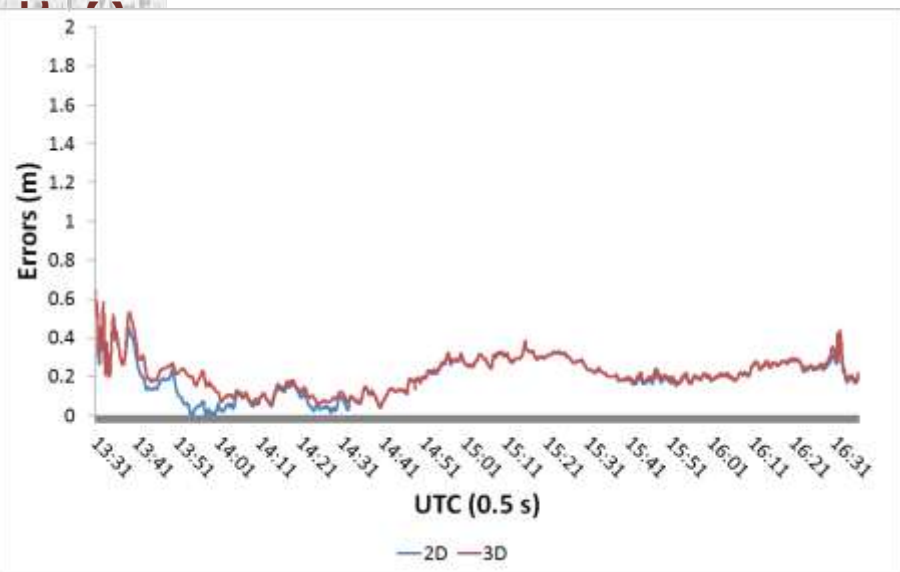
ENSAIOS EM VOO – SIMULANDO



UFPE

Correções estimadas no RT_SAT_CLK e aplicadas no PPP para ensaios em voo

o de Cartográfica



PPP para o voo comparado com PPP usando produtos finais do IGS

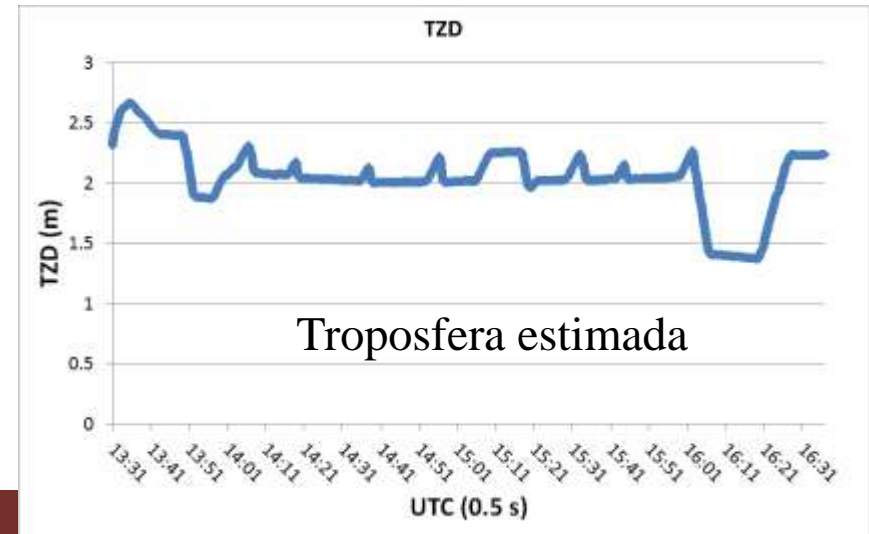
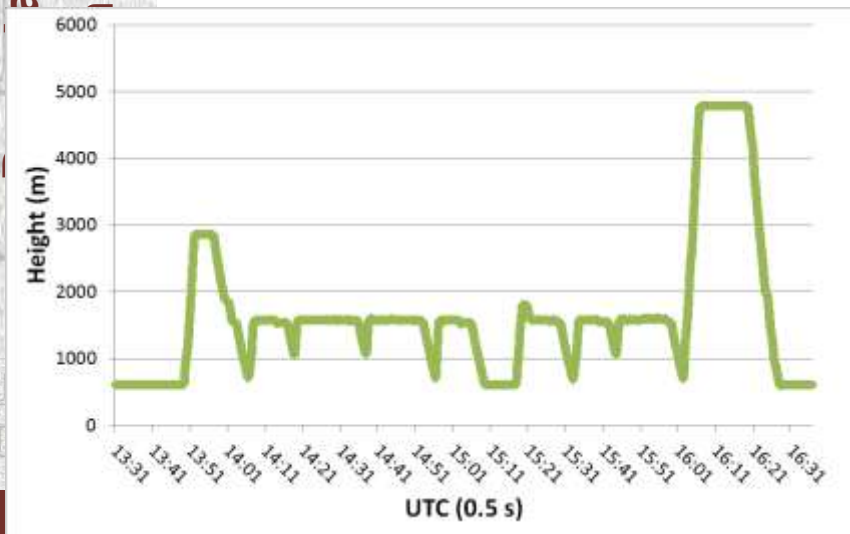
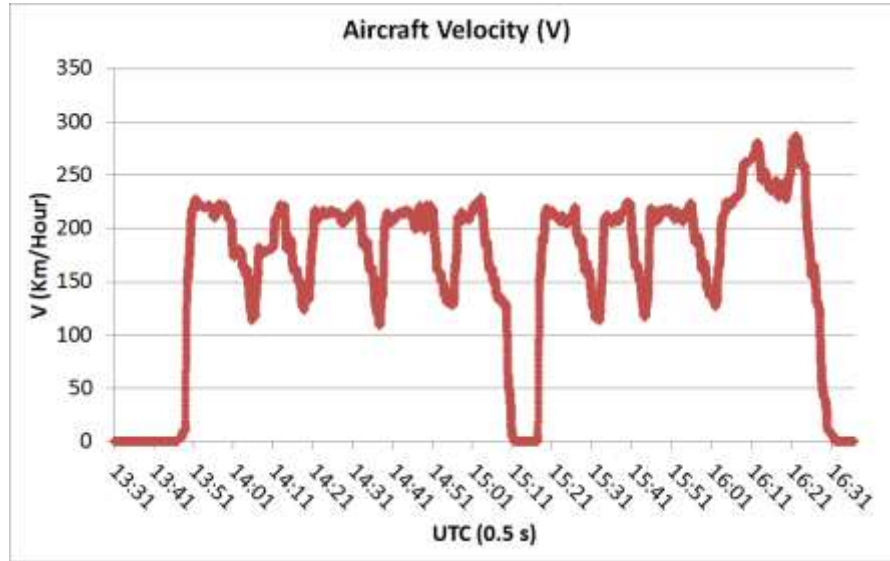
	Erro 2D (m)	Erro 3D (m)
Erro médio	0,173	0,216
Desvio Padrão	0,072	0,089
EMQ	0,187	0,234



UFPE

APLICAÇÃO DE RTPPP ENSAIOS EM VOO

amento de
aria Cartográfica



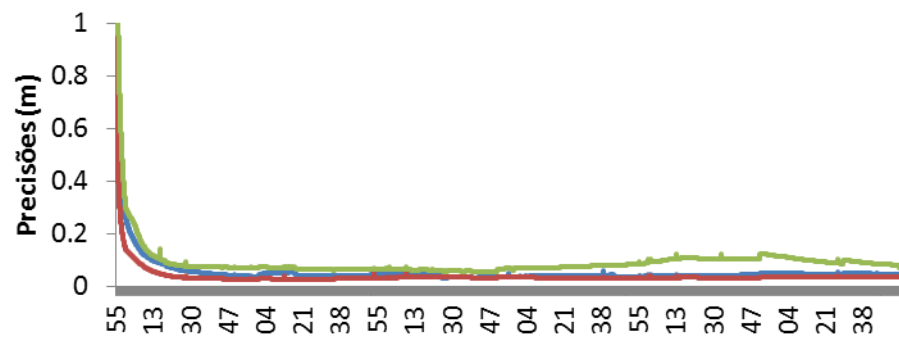


UFPE

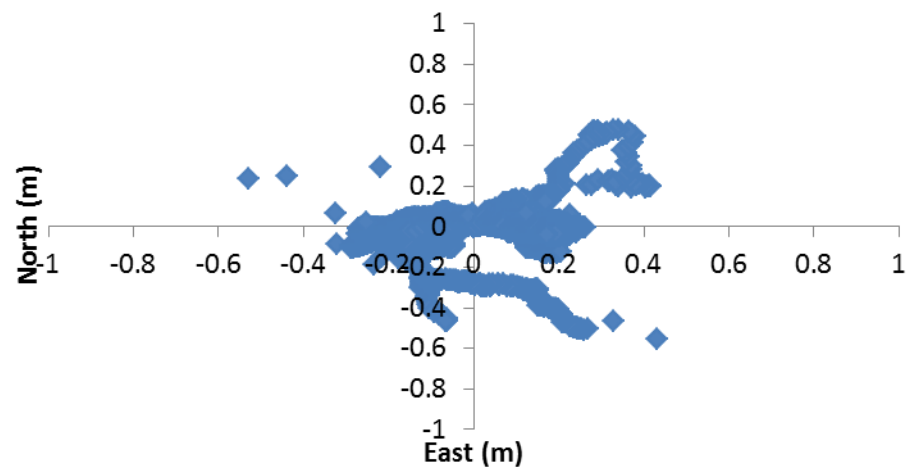
REAL TIME PPP – CORREÇÕES DO IGS/BKG

- RT_PPP (Cinemático) usando órbita IGU e relógios do *mountpoint* CLK91
- Estação RECF – 16/06/2013

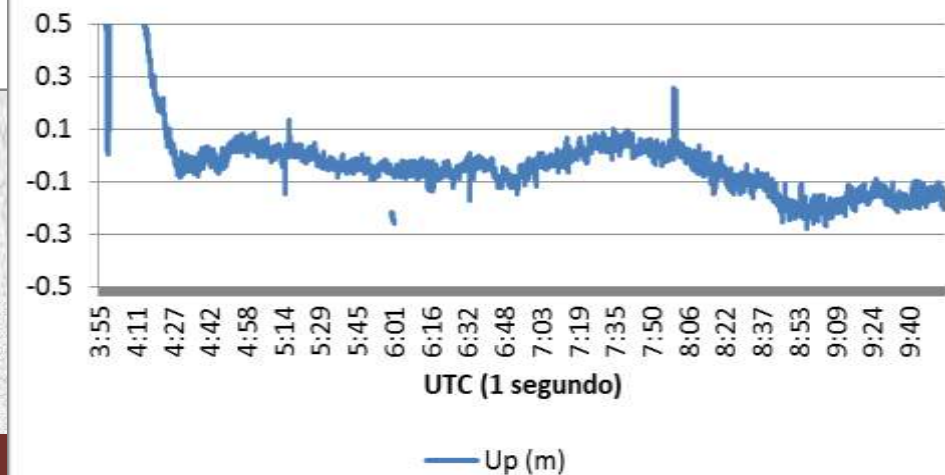
PPP cinemático tempo real (RECF0) - 16 jun 2013



PPP cinemático tempo real (RECF0) - 16 jun 2013



PPP cinemático tempo real (RECF0) - 16 jun 2013



	East (m)	North (m)	Up (m)	2D (m)	3D (m)
EMQ	0,146	0,057	0,289	0,157	0,329

REAL TIME PPP – CORREÇÕES DO IGS/BKG

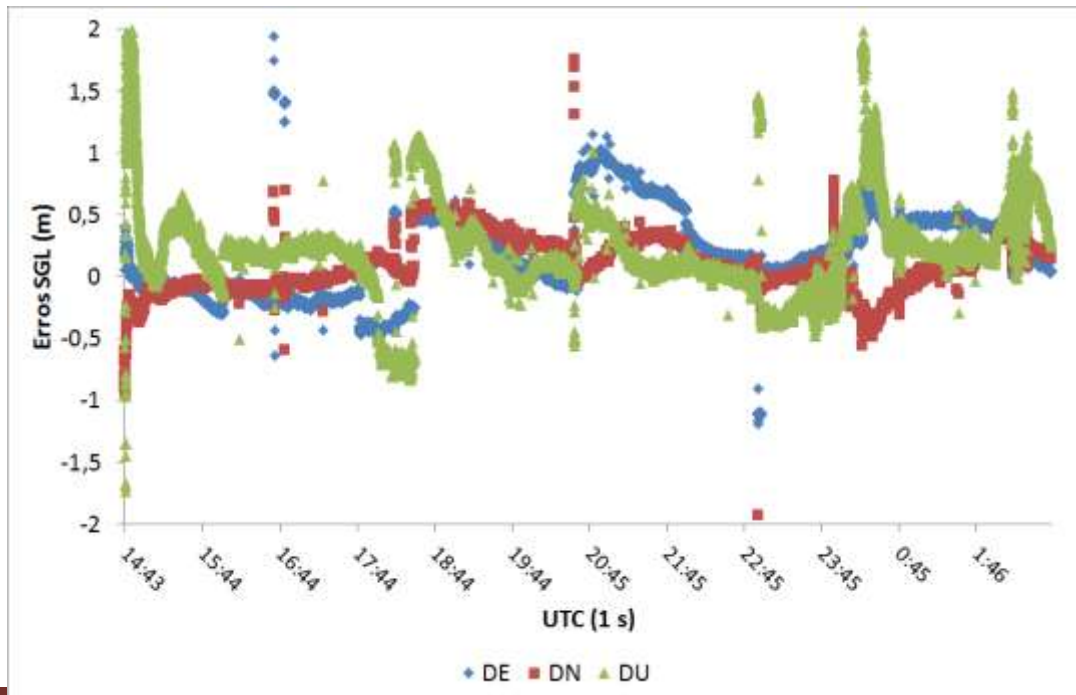
UFPE

Estação PPTE - 15 de fevereiro de 2012

Órbita IGU

Mountpoint clk11

Problemas de conexão em tempo real



Departamento de
Engenharia Cartográfica



CTG



UFPE

**Departamento de
Engenharia Cartográfica**



CTG

CONCLUSÕES

- Proposta
 - Investigação e a implementação de metodologia para estimativa das correções dos relógios dos satélites
 - Aplicação dessas correções no PPP em tempo real
- Desenvolvimento de um sistema para tempo real composto por dois *softwares*
 - RT_SAT_CLOCK - estimar as correções dos relógios dos satélites
 - RT_PPP - processar os dados GNSS no modo PPP em tempo real
- Dados em tempo real da RBMC e de outras redes brasileiras contribuem fortemente, seja para fins de pesquisa ou de aplicação prática.



PROJETOS EM ANDAMENTO

UFPE

- Projeto de parceria entre UFPE, UNESP e EMBRAER para pesquisa e desenvolvimento em ensaios de voo
- Trabalhos de mestrado na UFPE
 - Integração dos sinais modernizados GPS e GLONASS
 - Estimativa de parâmetros atmosféricos
- Colaboração e participação em projetos com pesquisadores de outros grupos de pesquisa

Departamento de
Engenharia Cartográfica



CTG



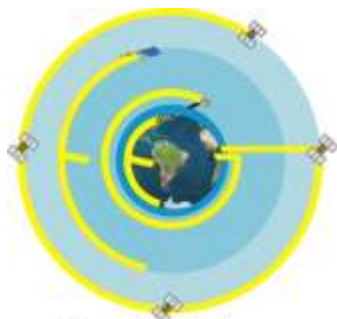
UFPE

**Departamento de
Engenharia Cartográfica**



CTG

Agradecimentos



**Grupo de Estudos em
Geodésia Espacial**



EMBRAER

